



ПРЕЗИДІЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

ПОСТАНОВА

23.06.2023

м. Київ

№ 254

Досягнення і перспективи використання
математичного моделювання в галузі
зварювання та споріднених технологій

Заслухавши та обговоривши доповідь доктора технічних наук О.В.Махненка «Досягнення і перспективи використання математичного моделювання в галузі зварювання та споріднених технологій», Президія НАН України відзначає важливість та актуальність фундаментальних і прикладних досліджень Інституту електрозварювання ім.Є.О.Патона НАН України, завдяки яким отримано вагомі науково-практичні результати для вирішення методами математичного моделювання проблем створення нових зварювальних і споріднених технологій, нових конкурентоспроможних зварних конструкцій, зокрема оборонного призначення, а також відновлення, ремонту і подовження ресурсу зварних конструкцій критичної інфраструктури України.

Актуальність цих досліджень зумовлена необхідністю оптимізації технологій зварювання, обґрунтування можливості використання нових конструкційних матеріалів, створення сучасних зварних конструкцій енергетичної, транспортної та інших галузей промисловості, а також оцінювання технічного стану відповідальних конструкцій після тривалої експлуатації або внаслідок їх руйнування під час бойових дій, що є стратегічно важливим для функціонування економіки і безпеки держави у післявоєнний період.

Наукові здобутки Інституту електрозварювання ім.Є.О.Патона НАН України у зазначеній галузі стали основою створення сучасних математичних моделей, розрахункових алгоритмів і комп'ютерних програм для математичного моделювання процесів тепломасопереносу під час зварювання та споріднених технологій, мікроструктурних фазових перетворень й механічних властивостей матеріалів у зонах плавлення та термічного впливу, кінетики зварювальних напружень

і деформацій, утворення холодних та гарячих тріщин, впливу залишкових напружень на опір крихкому і в'язкому руйнуванню, а також на опір втомі та ресурс зварних конструкцій в умовах інтенсивного термомеханічного навантаження й радіаційного випромінювання.

У ході досліджень отримано низку важливих наукових результатів. Зокрема:

– визначено, що під час зварювання тертям з перемішуванням алюмінієвих сплавів утворюються залишкові деформації, які мають втричі нижчий рівень, ніж за традиційних дугових способів зварювання плавленням. Рівень залишкових напружень під час такого зварювання може досягати межі плинності матеріалу, при цьому важливо враховувати ефект розміцнення (майже в 2 рази) матеріалу з'єднання у зоні термічного впливу внаслідок зварювального нагріву;

– встановлено, що за пошарового формування конструкційних елементів авіакосмічного призначення з титанового сплаву ВТ6 за допомогою адитивної технології електронно-променевого наплавлення для забезпечення рівномірності мікроструктури і механічних властивостей за об'ємом деталі необхідно пошарово контролювати температурний режим деталі, курируючи його за рахунок відповідних затримок в часі між шарами. Оптимальні значення таких затримок можуть визначатися методами математичного моделювання;

– розроблено рекомендації щодо використання математичного моделювання для дослідження процесів релаксації залишкових напружень під час післязварювальної термообробки зварних з'єднань конструкційних сталей. Встановлено, що спрощена функція повзучості, яка діє при фіксованій температурі витримки, може давати значну похибку відносно більш загальної моделі повзучості, яка діє в широкому діапазоні температур. Так, у випадку стикового зварного з'єднання ГЦТ Ду850 енергетичного реактора ВВЕР-1000 відносна похибка за максимальними залишковими напруженнями після термообробки для різних моделей становила 30%. Моделювання технології локальної термообробки зварного з'єднання колектора з патрубком парогенератора ПГВ-1000 засвідчило, що складна геометрія вузла і невдалий вибір розташування нагрівальних елементів може призвести до утворення нових високих залишкових напружень;

– встановлено, що під час виготовлення корпусу реактора ВВЕР-1000 із низьколегованої високоміцної сталі 15Х2НМФА використання технологій дугового наплавлення антикорозійного шару

спричиняє утворення у зоні термічного впливу структури з високим вмістом мартенситу, внаслідок чого у ній виникають зони стискальних залишкових напружень;

– доведено, що під час розрахункового обґрунтування подовження ресурсу внутрішньокорпусних пристроїв з урахуванням процесів радіаційного розпухання та повзучості матеріалу аустенітної сталі 08X18H10T за експлуатації енергетичного реактора ВВЕР-1000 необхідно враховувати технологічні залишкові напруження. встановлено, що післязварювальна термообробка елементів внутрішньокорпусних пристроїв за режимом аустенізації дає можливість релаксувати залишкові зварювальні напруження, однак геометрична неоднорідність вигородки впливає на утворення нових високих залишкових напружень (до 120 МПа);

– показано, що під час ремонтного багатопрохідного наплавлення дефектів корозійно-ерозійного стоншення стінки трубопроводів атомних електростанцій з позиції в'язкого руйнування несуча здатність відновлюється майже повністю (зниження тиску руйнування порівняно з бездефектною трубою не перевищує 0,2 МПа). Опірність крихкому руйнуванню відремонтованої труби нижча, ніж бездефектної, і залежить від розміру постульованої тріщини в місці максимальних залишкових розтягувальних напружень;

– встановлено, що стандартні алгоритми оцінювання припустимості дефектів локального корозійного стоншення стінки магістральних газопроводів під час транспортування газоводневих сумішей мають обмежену застосовність, що обумовлено зміною механізму руйнування металу з в'язкого на крихко-в'язкий внаслідок водневого окрихчення. Показано доцільність проведення аналізу крихкої міцності дефектного трубопроводу залежно від парціального тиску водню в суміші й відповідної зміни в'язкості руйнування;

– розроблено нові суцільнозварні конструкції несучих елементів (бокової рами і надресорної балки) двовісного візка вантажного залізничного вагона з осьовим навантаженням 23,5 тс на заміну литих деталей, які мають низьку надійність і схильні до зламів. Дослідні зразки суцільнозварної конструкції бокової рами витримали прискорені випробування на втому, що експериментально довело, що їх циклічна довговічність у 2...4 рази перевищує циклічну довговічність литих бокових рам;

– разом із фахівцями Інституту кібернетики ім.В.М.Глушкова НАН України створено нові ефективні методи, алгоритми та програмні засоби розв'язування на комп'ютерах з багатоядерними процесорами та графічними прискорювачами розрахункових задач, що вимагають значних обчислювальних ресурсів, для моделювання і прогнозування стану та ресурсу відповідальних зварних конструкцій, зокрема з визначення залишкового ресурсу таких конструкцій із виявленими дефектами;

– розроблено комп'ютерну програму «Weldprediction» вер.3.5 для чисельного скінченоелементного аналізу технологічних та фізико-механічних процесів під час багатопрхідного зварювання кільцевих з'єднань трубопровідних елементів та посудин тиску, яка включена Державним підприємством «Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом» (ДП «НАЕК «Енергоатом») до переліку програмних кодів, що можуть використовуватися під час розрахункового обґрунтування міцності та ресурсу елементів обладнання АЕС України;

– фахівці Інституту електрозварювання ім.Є.О.Патона НАН України взяли участь у підготовці нормативного документа міжнародного рівня у сфері математичного моделювання у зварюванні ISO-TC 18166: 2022 «Numerical Welding Simulation».

Результати досліджень інституту впроваджені на таких підприємствах стратегічних галузей промисловості та критичної інфраструктури України, як ДП «НАЕК «Енергоатом», ТОВ «Оператор газотранспортної системи України», ДП КБ «Південне» ім.М.К.Янгеля, ПАТ «Укрзалізниця», ДП «Харківський машинобудівний завод «ФЕД», МІСТПРОЕКТ тощо.

Президія НАН України постановляє:

1. Доповідь завідувача відділу Інституту електрозварювання ім.Є.О.Патона НАН України доктора технічних наук О.В.Махненка взяти до відома.

2. Відзначити важливість та актуальність фундаментальних і прикладних результатів, отриманих в Інституті електрозварювання ім.Є.О.Патона НАН України, зі створення сучасних математичних моделей, розрахункових алгоритмів й комп'ютерних програм для проведення засобами математичного моделювання експертного оцінювання технологій зварювання, можливості використання сучасних конструкційних матеріалів, створення нових зварних конструкцій енергетичної, транспортної, оборонної та інших галузей промисловості, а також оцінювання технічного стану зварних конструкцій критичної інфраструктури після тривалої експлуатації або після руйнування під час бойових дій.

3. Інституту електрозварювання ім.Є.О.Патона НАН України протягом 2023–2025 років:

3.1. Спільно з Фізико-механічним інститутом ім.Г.В.Карпенка НАН України провести дослідження щодо обґрунтування можливості використання діючих в Україні магістральних трубопроводів для транспортування газоводневих сумішей.

3.2. Організувати роботу з впровадження ремонтних зварювальних технологій трубопроводів атомних електростанцій з дефектами корозійно-ерозійного стоншення стінки.

3.3. До кінця 2024 року надати відповідним підприємствам газотранспортної та енергетичної галузей результати досліджень та рекомендації щодо їх впровадження.

4. Контроль за виконанням цієї постанови покласти на Відділення фізико-технічних проблем матеріалознавства НАН України та Науково-організаційний відділ Президії НАН України.

Президент
Національної академії наук України
академік НАН України



Анатолій ЗАГОРОДНІЙ

В.о.головного вченого секретаря
Національної академії наук України
академік НАН України

Вячеслав БОГДАНОВ